

第五届中尺度气象学论坛



利用双偏振雷达观测评估飢线事件中模 拟的层云和对流云降水的微物理特征



孙玉婷

合作者：周志敏，高庆九(南京信息工程大学)，李红莉，王明欢等

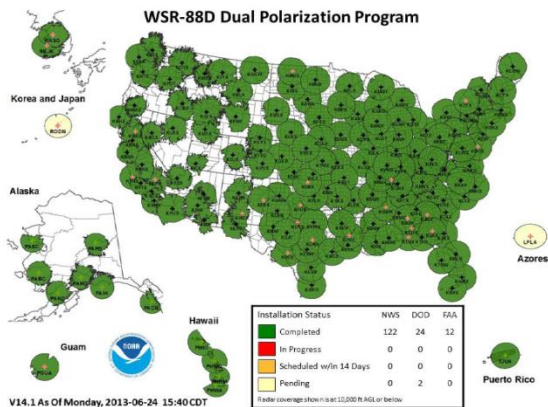
中国气象局武汉暴雨研究所
中国气象局流域强降水重点开放实验室

2023. 8. 10

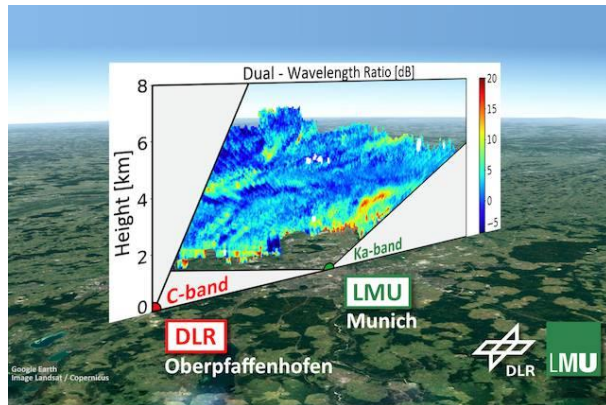
背景：数值模式中云和降水过程的表示一直是数值天气预报的核心挑战

- 模式网格距越小，云微物理参数化越重要
- 通过爬线微物理观测对现有方案广泛验证，对限制数值模拟不确定性和模式改进有重要意义。

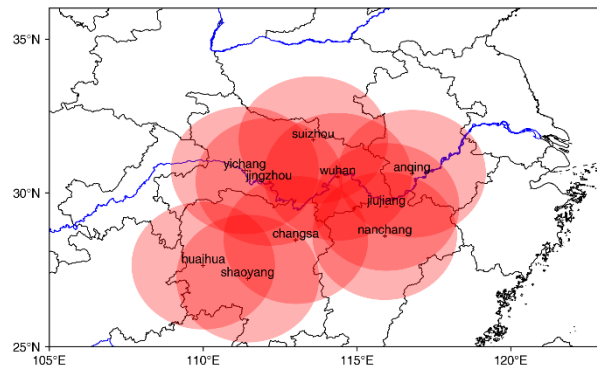
美国S波段多普勒气象监视雷达网 (WSR-88D) 的双偏振升级于2013年完成



德国与其他欧洲国家C波段雷达网的双偏振升级于2015年完成

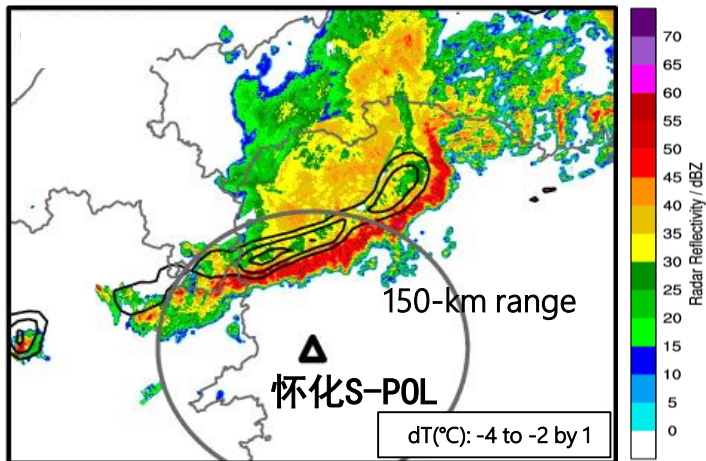


我国正在升级新一代天气雷达网的双偏振功能



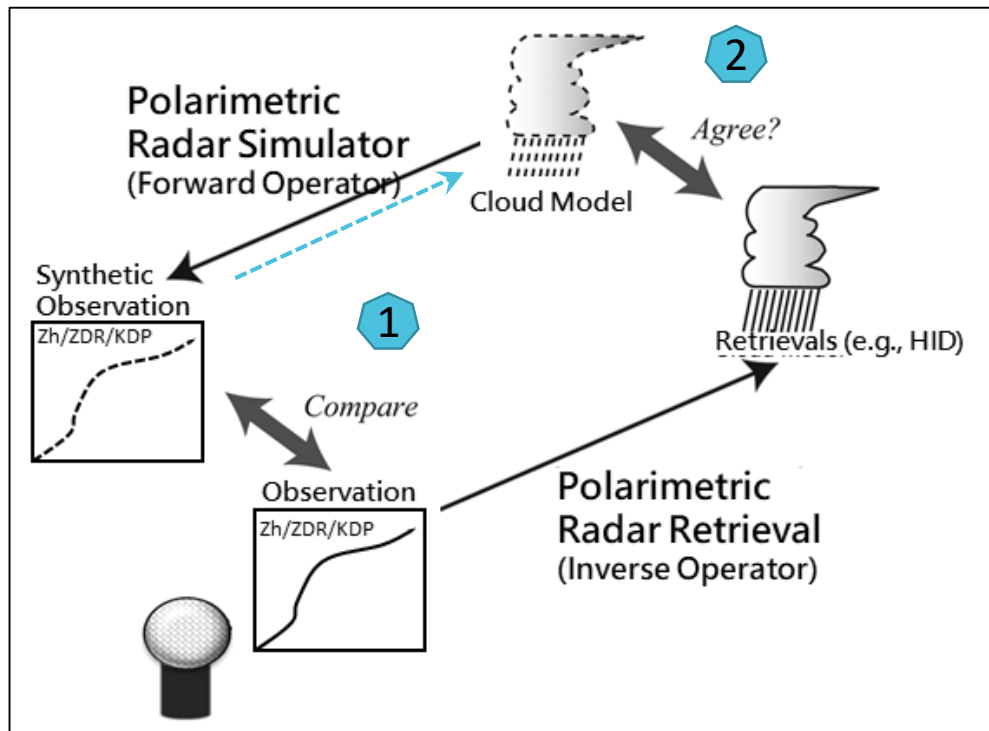
科学问题&方法

2022.3.16 1300 UTC 3 km



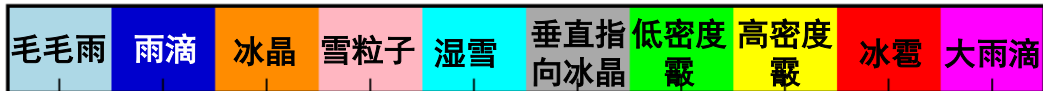
- 双偏振雷达实际观测能提供飑线哪些关键微物理“指纹”信息？
- 微物理方案能否捕捉到？

POLARRIS (Matsui, T., et al., 2019)



数据&模拟设计

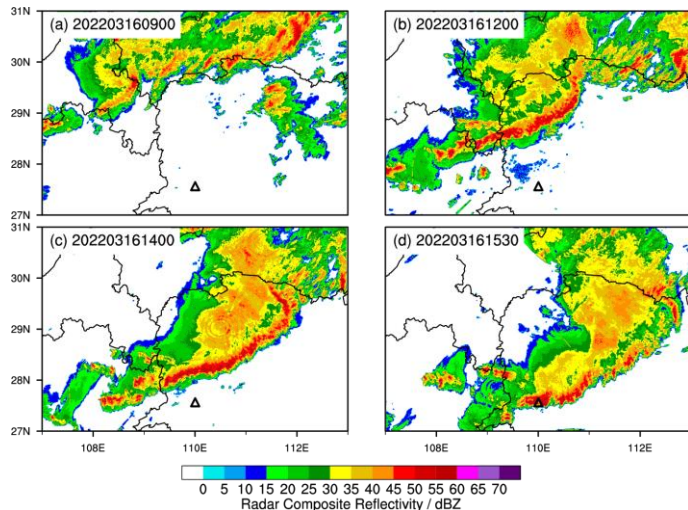
- 怀化S波段双偏振雷达质控数据 (Z_H -回波强度, ZDR-雨滴大小, KDP-液态水含量) 经非气象回波剔除、ZDR理论零值偏差订正、 ϕ DP滤波并估算KDP等处理 (Chen et al., 2017; Cunningham et al., 2013; Lang et al., 2007)
- 模糊逻辑水凝物识别 (HID) 算法-垂直层中主导水凝物类型 (Dolan et al., 2013)



- 云微物理参数化方案 (MORR, WDM6)

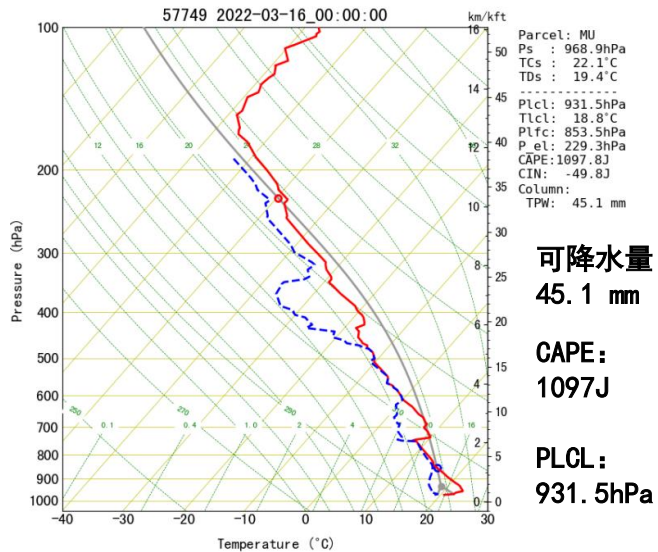
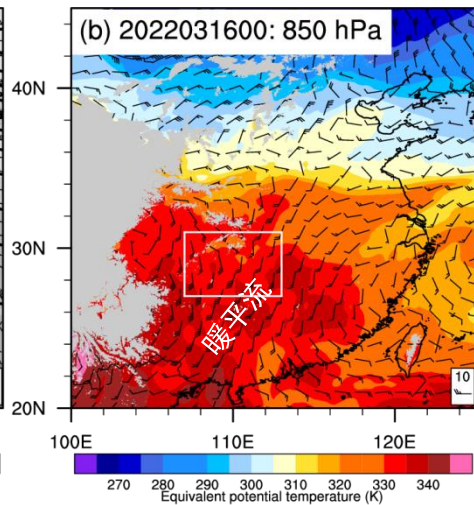
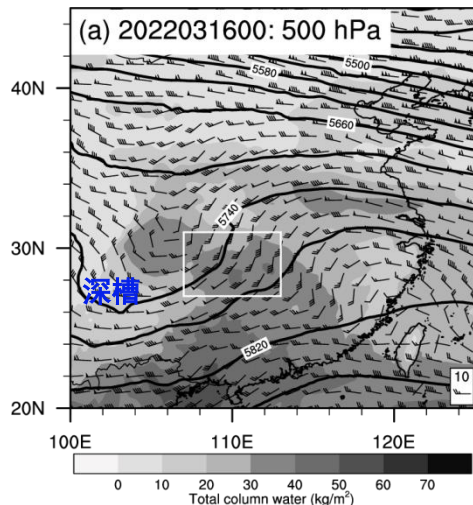
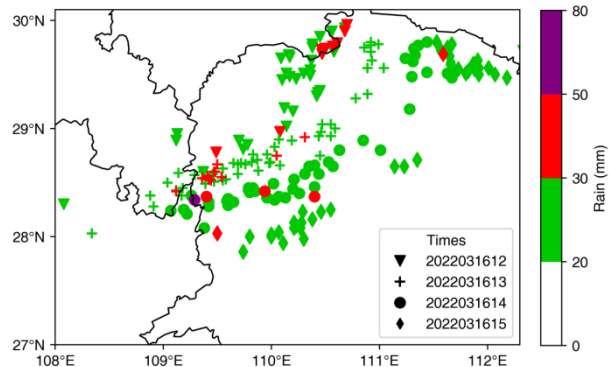
- ✓ 初始时刻: 0000 UTC 16 March
- ✓ 模拟时长: 18 h
- ✓ 分析时段: 1200-1700UTC
- ✓ 结果输出: 15-min interval

➤ 2022年3月16日长江中游强降水飑线



环境条件

- 关注重点是**MCS成熟阶段1200~1500UCT**对流-层云区的微物理结构。
- 适中的**TPW**；有利的对流启动条件



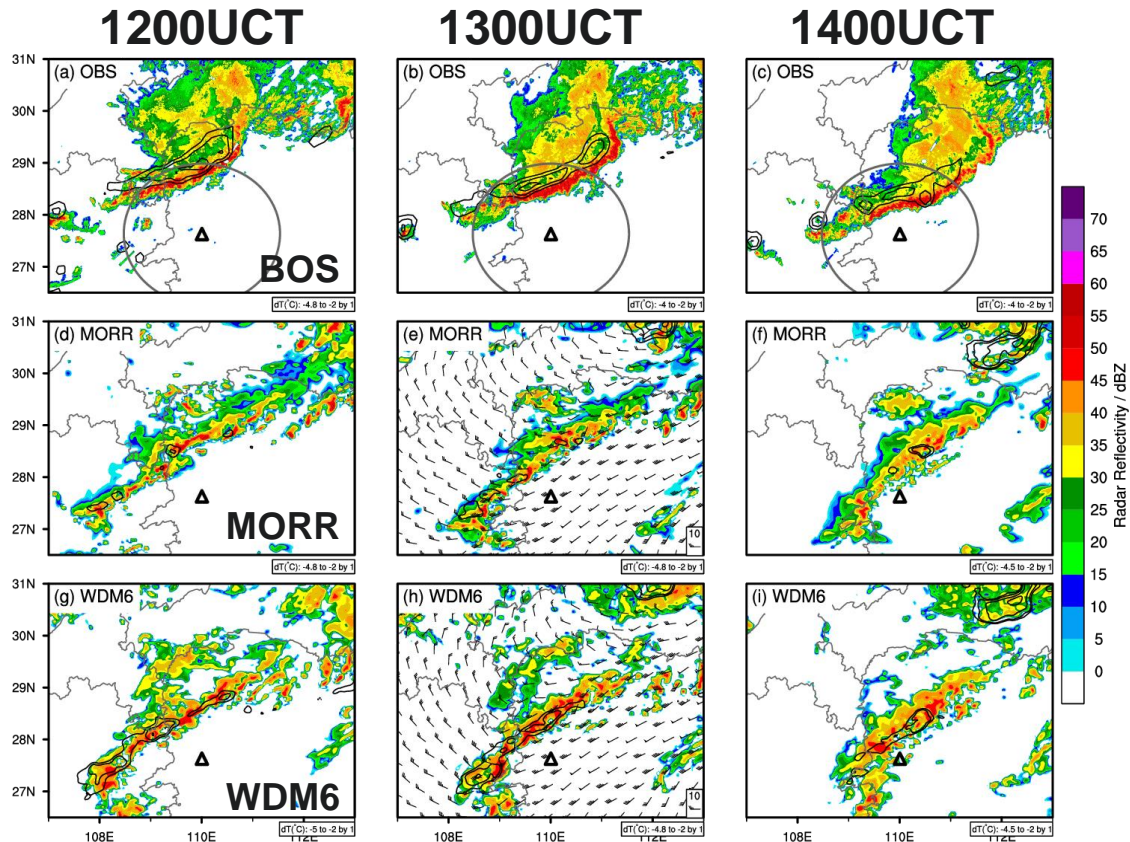
1. 模拟总体评价

BOS: $\Delta t = -3^{\circ}\text{C}$

MORR: $\Delta t = -1^{\circ}\text{C}$

WDM6: $\Delta t = -3^{\circ}\text{C}$

较好地模拟了飗线主要结构(包括带尾部层状结构的先导对流线和冷池),
缺失过渡带



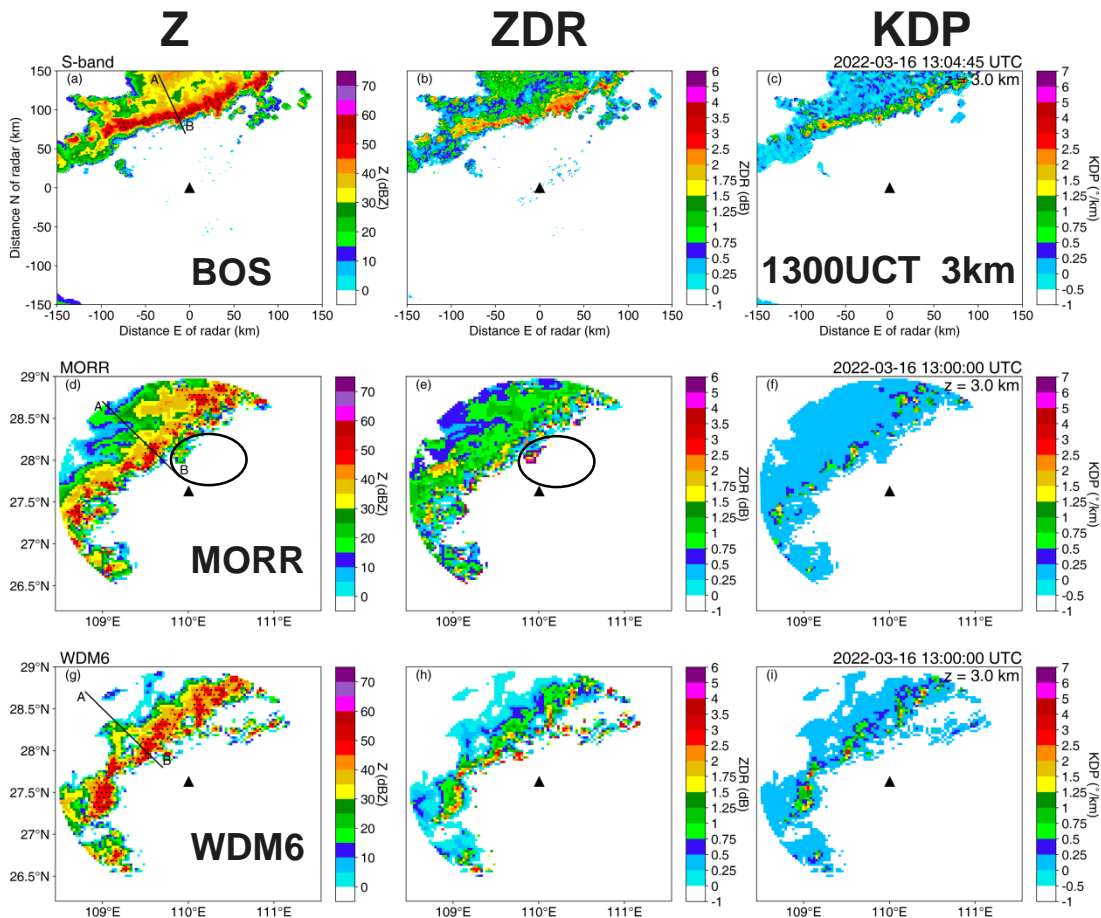
2. 双偏振特征

Z的点区表示识别的对流区(Powell et al., 2016)

对流线: $ZDR > 3\text{dB}$, 大雨滴;
 $KDP > 2.5^\circ/\text{km}$

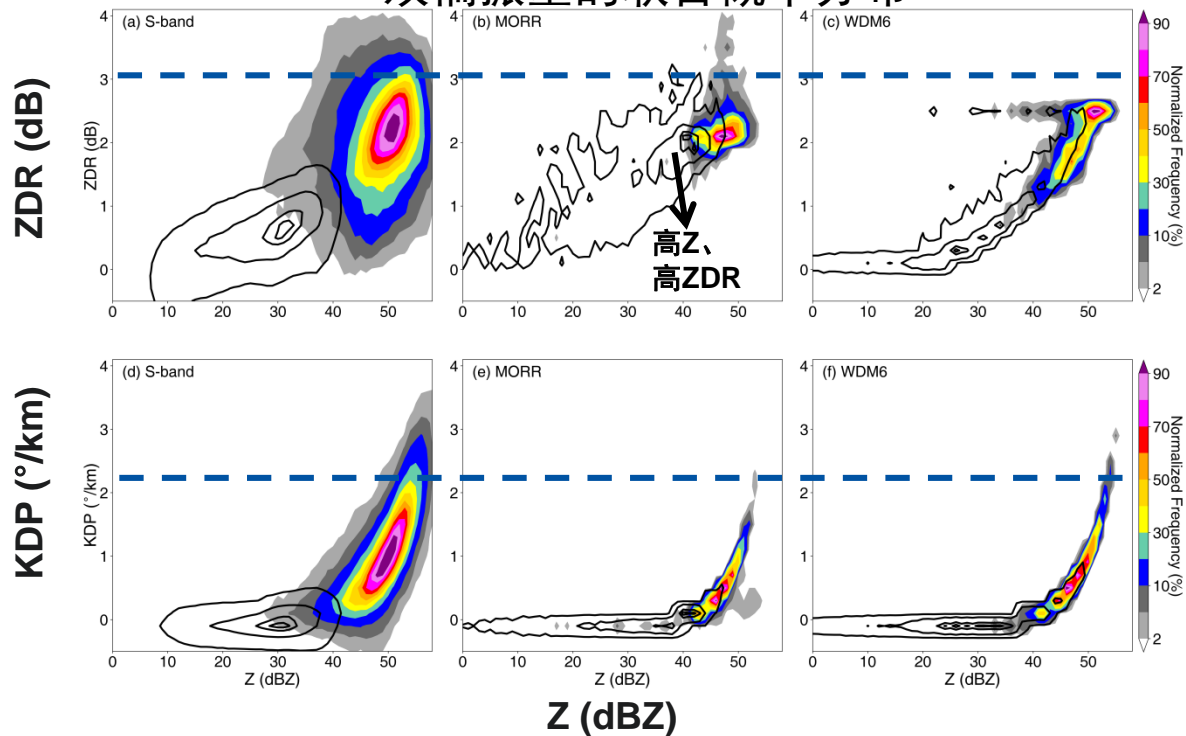
层云区: $ZDR < 1.5\text{ dB}$,
 $KDP < 0.5^\circ/\text{km}$

模拟:
可区分对流区和层状区, 但
偏低;
无低Z和低ZDR的过渡区



2. 双偏振特征

双偏振量的联合概率分布



- 等值线：层云类
- 阴影：对流类

ZDR-雨滴大小, KDP-液态水含量

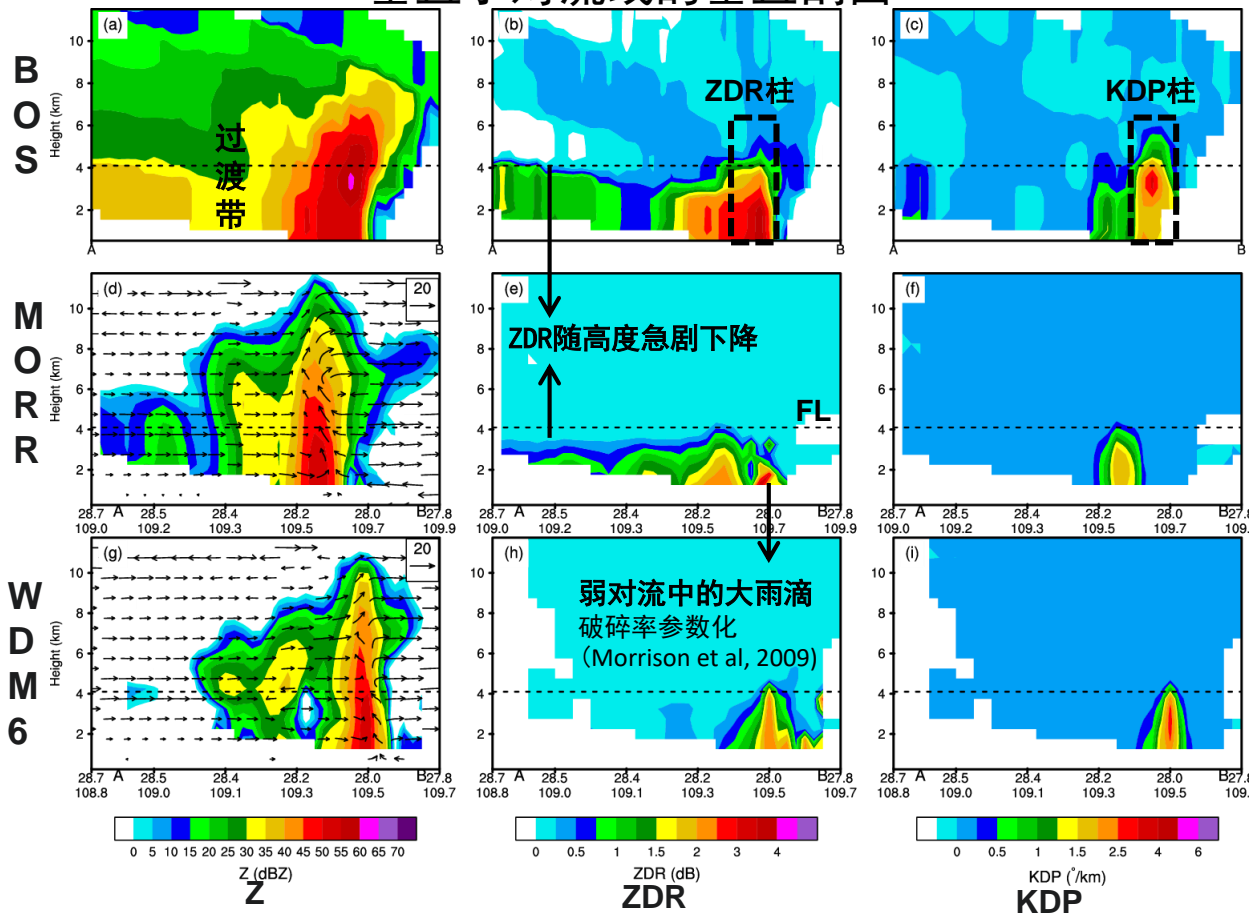
对流区大液滴频率和液态水含量被低估；
层云区雨滴尺寸被MORR高估

2. 双偏振特征

再现了经典极化特征ZDR柱和KDP柱，但相应宽度偏窄

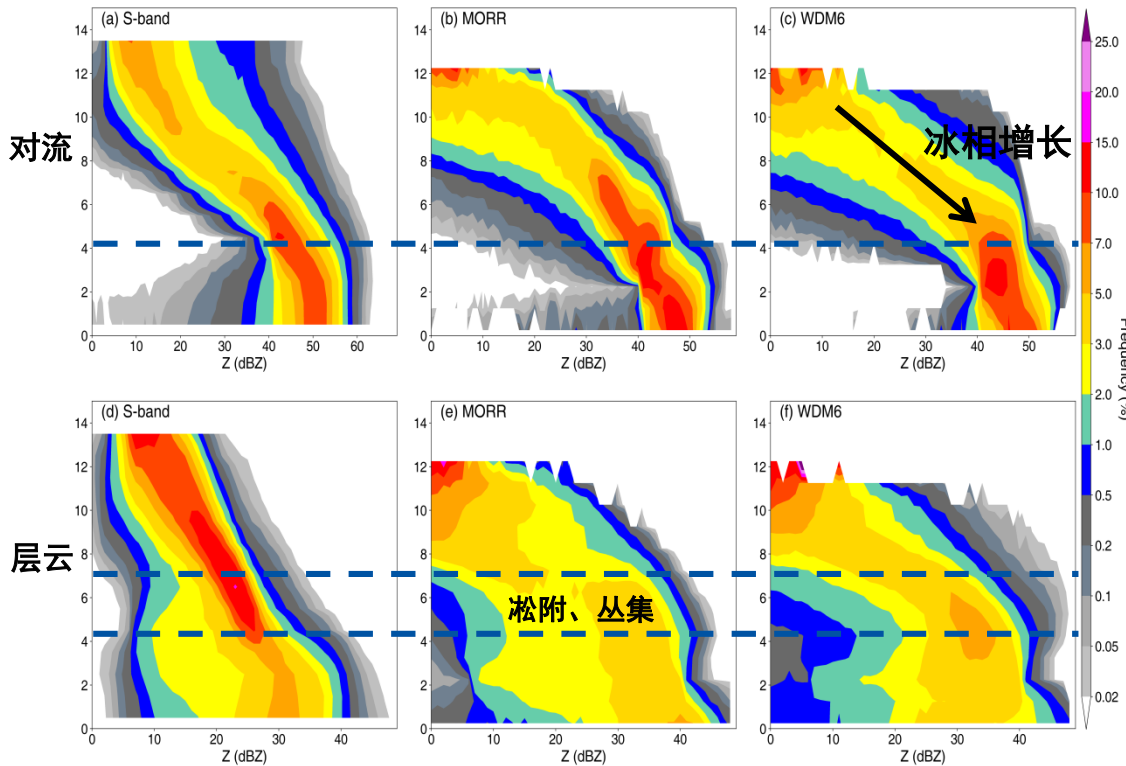
弱对流上升气流无法将足够多的过冷雨滴抬升到低于冰点的高度，从而产生如观测更宽的ZDR柱和KDP柱

垂直于对流线的垂直剖面



3. 降水微物理结构

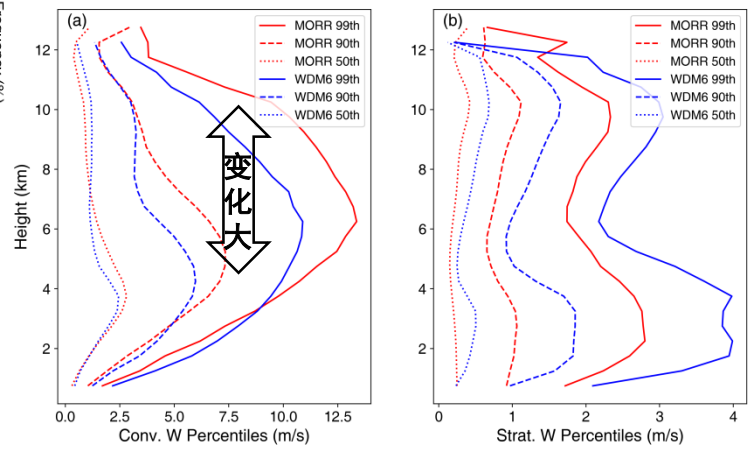
对流区和层云区Z的CFADs



冰相过程：凝华、丛集或淞附

对流：12km Z值被低估，即对流预测不足，OBS>MORR>WDM6

层云：
FL以上3公里内极端Z值与丛集、淞附过程有关；
FL以下Z值被高估，雨滴碰并高估



3. 降水微物理结构

对流区和层云区双偏振雷达量廓线及四分位范围

对流:

冰相过程在对流区存在低估,
尤其是淞附过程

0-20°C 之间Z: OBS>WDM6>MORR

Z的低估与粒子淞附程度对比结果一致

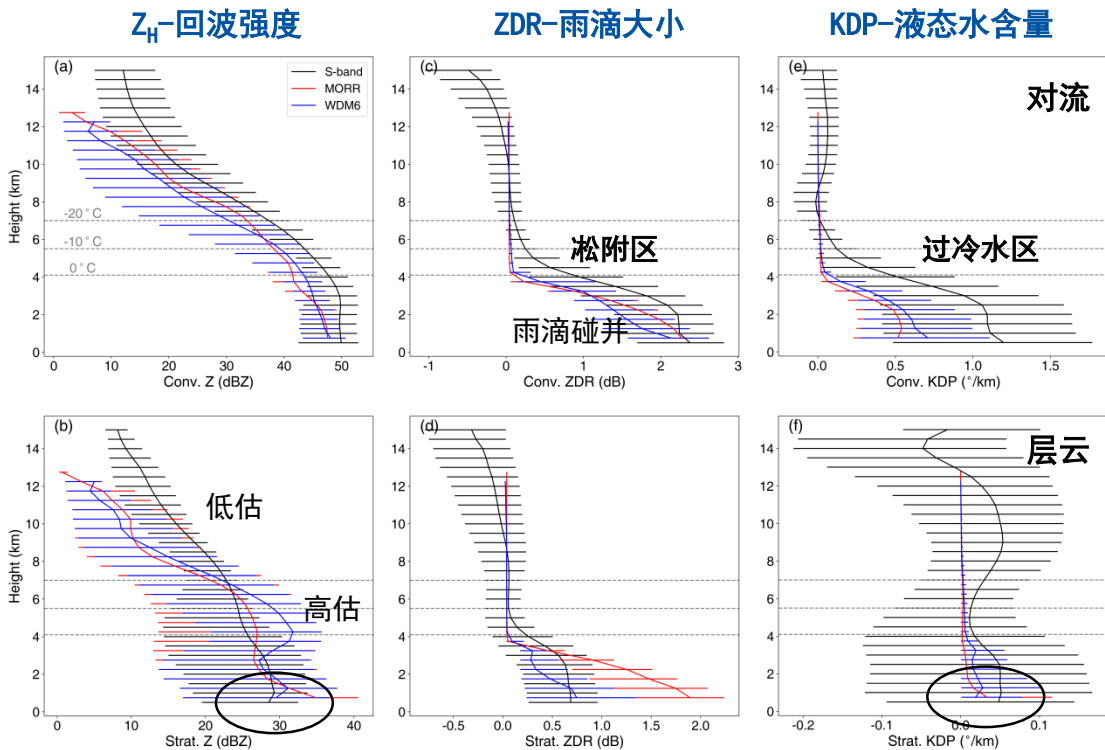
层云:

-20°C以上(凝华)预测不足;

-20°C与FL之间(霰)被高估

MORR高估雨滴大小;

WDM6雨滴蒸发抵消了霰粒
融化对Z的高估



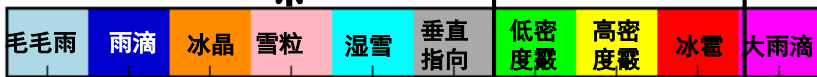
3. 降水微物理结构

观测的对流中，冰相过程要活跃得多，特别是冰粒在 -10°C 水平和FL之间收集液滴/过冷水滴的淞附过程；更有效的淞附及其相关的融化过程导致了融化层以下更大比例的大雨滴。

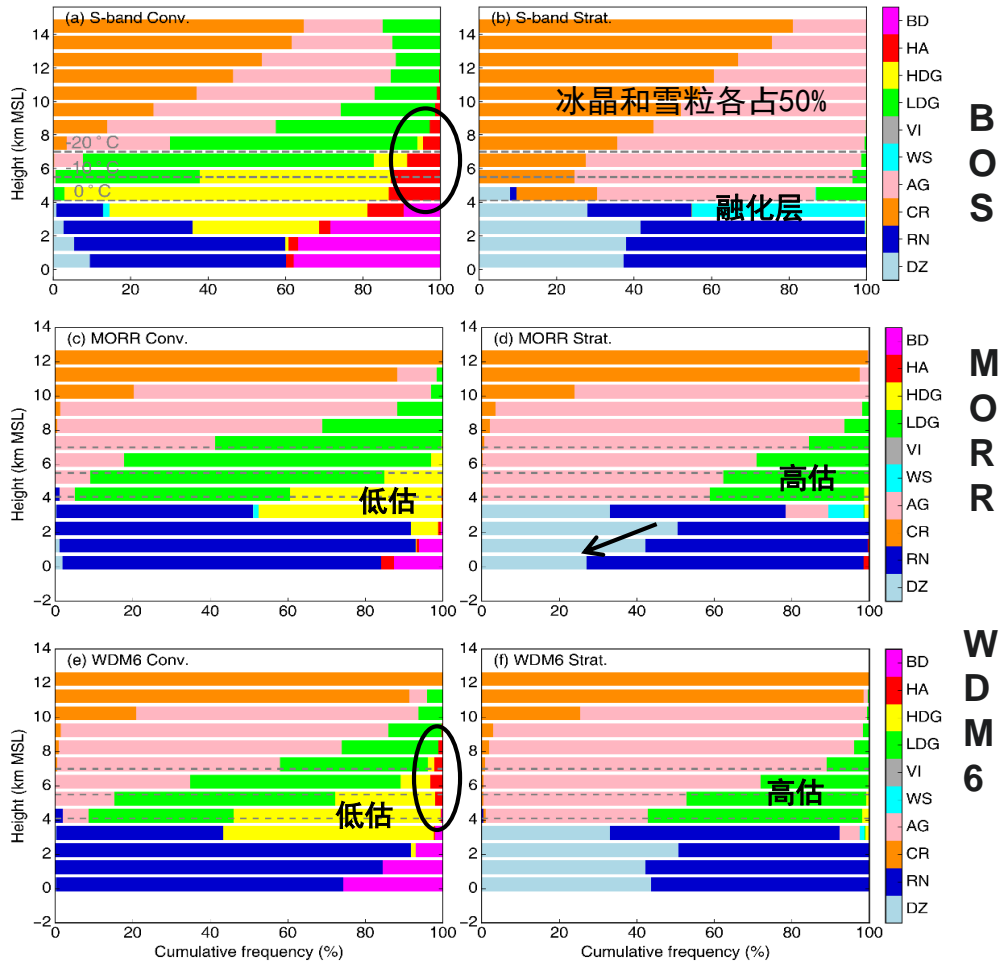
层云区低密度霰占比被高估。

丛集过程

松附程度大的粒子



各垂直层水凝物叠加占比



4. 总结与结论

模拟的双偏振雷达变量及由此产生的水凝物类型与2022年3月16日华中地区飑线的雷达观测和反演结果进行了比较，以评价MORR和WDM6方案能否再现飑线的关键微物理特征，主要结论如下：

- ① 模拟的DSDs很好地呈现了对流区和层云区之间的不同模态，但对流区大雨滴频率和液态水含量被低估；层云区雨滴大小被MORR高估。
- ② 方案再现了典型的双偏振特征ZDR柱和KDP柱，但由于对流预测不足偏弱偏窄。
- ③ 在对流区冰相过程存在低估，尤其是淞附过程。表现在0-20° C之间Z的低估与粒子淞附程度对比结果一致，其中MORR没有预测出冰雹，且与WDM6方案相似、对霰粒低估。同时，由于有限的淞附程度会影响弱融化率和融化层以下的缓慢下降速度，进而导致暖云层中WDM6、MORR的大雨滴比例和液态水含量依次低于观测。
- ④ 层云区中层冰相反射率被高估，归因于MORR和WDM6方案预测的霰占比依次偏大或者假定的霰密度依次偏高；这也是MORR高估融化层以下雨滴尺寸的主要偏差来源。

THANKS